昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*, April 2005, 48(2):203 - 207　　ISSN 0454-6296

温度对抗性朱砂叶螨发育和繁殖的影响

何　林，赵志模*，曹小芳，邓新平，王进军
(西南农业大学，重庆市昆虫学及害虫控制工程重点实验室，重庆　400716)

摘要：比较了朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* (Boiduval)敏感品系(S)、阿维菌素抗性品系(AR)和甲氰菊酯抗性品系(FR)在不同温度下的发育和繁殖情况，用王-兰-丁模型拟合了各品系发育速率与温度的关系。结果表明，在 36℃下，S 品系和 FR 品系卵均不能孵化，而 AR 品系却能完成世代发育。15℃下，AR 和 FR 品系的世代历期分别比 S 品系延长 8.0 和 6.2 天，产卵前期均比 S 品系缩短约 2.0 天。在 20～28℃下，S 品系繁殖力大于抗性品系；在 34℃下，AR 品系的产卵量显著大于 S 和 FR 品系。S、FR 和 AR 品系发育临界高温分别为 36.0℃、36.1℃和 42.4℃。结果提示 AR 品系对高温的适应能力较 S 和 FR 品系明显增强。

关键词：朱砂叶螨；抗性；温度；历期；繁殖力
中图分类号：Q965　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2005)02-0203-05

Effect of temperature on development and fecundity of resistant *Tetranychus cinnabarinus* (Boiduval)

HE Lin, ZHAO Zhi-Mo*, CAO Xiao-Fang, DENG Xin-Ping, WANG Jin-Jun (Key Laboratory of Entomology and Pest Control Engineering of the Ministry of Agriculture and Chongqing City, Southwest Agricultural University, Chongqing 400716, China)

Abstract: For understanding the changing of biological characteristics of *Tetranychus cinnabarinus* (Boiduval) which had developed resistance to acaricides, the biological characteristics of the susceptible strain (S), the abamectin-resistant strain (AR) and the fenpropathrin-resistant strain (FR) at different temperatures were assayed and compared. The relationship between temperature and growth speed of the three strains was simulated using the Wang-Lan-Ding Models. The results showed the eggs of the S and FR strains did not hatch at the high temperature of 36℃ while that of the AR strain could complete generation development. Compared to the S strain, the AR and FR strains extended generation developmental time 7.98 and 6.15 days, respectively, and shortened the pre-oviposition duration about 2 days at the low temperature of 15℃. The fecundity of the S strain was higher than that of the two resistant strains within the temperature range of 20℃ - 28℃ while lower than that of the AR strain at 34℃. The maximum boundary temperatures of S, FR and AR strains were 36.0℃, 36.1℃ and 42.4℃, respectively. The results suggest that the AR strain has stronger tolerance to high temperature than the other two strains.

Key words: *Tetranychus cinnabarinus*; resistance; temperature; developmental duration; fecundity

朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval)是我国广泛分布，在棉花和多种蔬菜上危害严重而又难于防治的一种害螨。该螨因繁殖力强，世代周期短，活动范围小，接触杀虫剂的机会多，其抗性问题甚至比其它农作物害虫更为严重。国外有关朱砂叶螨的抗药性最早见于 1949 年美国纽约州棉田使用对硫磷防治棉叶螨失效的事例(吴孔明等，1990)。国内于 1960 年初在湖北荆州棉区发现棉红蜘蛛对有机氯农药产生了抗性，并由此开展了对朱砂叶螨的抗性研究(吴孔明和刘芹轩，1994；郭凤英和赵志模，1999；何林等，2002，2003)。

昆虫及螨类的某些生物学特性因不同的环境可能发生变化，杀虫剂和杀螨剂是诱导这种变化的一个重要原因。刘孝纯等(1998)研究了杀虫剂对朱砂叶螨扩散行为及繁殖力的影响，发现氧化乐果、杀虫脒、溴氰菊酯和氰戊菊酯对该螨有较强的刺激扩散作用；供试 11 种农药中，有 4 种对该螨有持久的增殖作用。朱砂叶螨久效磷抗性品系在不用药条件

基金项目：国家自然科学基金项目(39970493)
作者简介：何林，男，1972 年生，四川遂宁人，博士，副教授，主要从事农药毒理与应用技术研究工作，Tel.：023-68251795；E-mail：helinok@tom.com
* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail：zhaoxl@swau.edu.cn
收稿日期 Received：2004-10-08；接受日期 Accepted：2005-01-28

下，平均世代周期、产卵期和雌成螨寿命均比敏感品系延长，而生殖力却远低于敏感品系(武予清和刘孝纯，1993)。潘文亮和赵善欢(1990)用噻嗪酮(buprofezin)3种浓度处理褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål)，发现成虫寿命、产卵量和卵的孵化均受到一定的影响，其增殖能力显著低于褐飞虱对照种群。

研究抗药性叶螨生物学特性的变化，对理解叶螨的生态适应性、指导合理用药防治叶螨以及制订叶螨的综合治理(IPM)方案等具有重要的意义。本文比较研究了朱砂叶螨敏感品系、抗阿维菌素(abamectin)品系和抗甲氰菊酯(fenpropathrin)品系对不同温度的反应差异，旨在搞清朱砂叶螨产生抗药性后发育和繁殖情况发生的改变，为该螨的抗药性治理提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试叶螨

将采自重庆市北碚区田间豇豆 *Vigna unguiculata* 苗上的朱砂叶螨移接到新鲜盆栽豇豆苗上，在室内连续饲养5年约100代左右视为敏感品系(S)。饲养条件为：温度26±1℃，光周期14L:10D。抗阿维菌素品系(AR)和抗甲氰菊酯品系(FR)已分别用相应药剂筛选42代和40代(何林等，2003)，两抗性品系的抗药性系数分别为8.7和68.5。

1.2 温度设置

设置7个温度梯度，即15℃、20℃、25℃、28℃、31℃、34℃和36±1℃。相对湿度50%～70%，光周期14L:10D。

1.3 饲养方法

一株真叶展开的豇豆苗在营养钵中栽培。叶上接一头交配过的雌成螨，产卵后即弃去，每株豆苗保留新鲜卵1粒。豆苗外套一两端开口的玻璃罩，罩口上覆盖细纱布，在供试温度下的光照培养箱内饲养，饲养期间不施药。

每个品系在各个温度下的供试卵数不少于50粒。逐日记载叶螨的发育进度，到成螨时，雌雄配对，记录每日每雌的产卵数直至死亡。

2 结果与分析

2.1 温度对不同朱砂叶螨品系发育历期的影响

不同温度下朱砂叶螨S品系、FR品系和AR品

表1 朱砂叶螨敏感品系(S)、抗阿维菌素品系(AR)和抗甲氰菊酯品系(FR)在不同温度下的发育历期(天)

Table 1 Developmental duration (d) of susceptible (S), abamectin-resistant (AR) and fenpropathrin-resistant (FR) strains of *Tetranychus cinnabarinus* at different temperatures

发育历期和品系 Stage and strain	温度 Temperature (℃) 15	20	25	28	31	34	36
卵 Egg							
S	9.9±1.1 a	5.9±0.6 a	3.1±0.3 a	2.5±1.3 a	3.0±0.0 a	2.8±0.8 a	–
AR	10.6±0.8 a	4.4±0.5 a	3.4±0.5 a	3.0±0.2 a	2.8±0.4 a	3.0±0.1 a	3.0±0.0
FR	10.1±1.1 a	6.5±0.9 a	3.5±0.5 a	3.1±0.4 a	3.0±0.0 a	2.7±0.5 a	–
幼螨 Larvae							
S	2.4±0.7 a	1.1±0.3 a	1.3±0.3 a	1.6±0.4 a	1.0±0.0 a	0.9±0.5 ab	–
AR	8.2±1.0 b	2.8±0.6 a	2.0±0.3 a	2.0±0.0 a	1.3±0.5 a	1.8±0.4 b	1.5±0.5
FR	1.9±0.7 a	0.8±0.6 a	2.3±0.6 a	1.5±0.6 a	1.0±0.0 a	0.9±0.3 a	–
若螨 Nymphs							
S	8.6±1.2 a	5.1±0.9 a	3.0±0.3 a	2.2±0.5 a	2.0±0.0 a	2.3±0.6 a	–
AR	10.1±0.6 a	4.6±0.6 a	2.4±0.5 a	2.0±0.0 a	1.7±0.5 a	2.0±0.0 a	2.1±0.3
FR	15.0±1.5 b	6.5±0.9 a	2.7±0.6 a	2.3±0.7 a	2.7±0.5 a	2.8±0.6 a	–
产卵前期 Pre-oviposition							
S	4.3±1.0 a	2.2±0.4 a	0.8±0.5 a	0.7±0.2 a	1.0±0.3 a	1.9±0.9 ab	–
AR	2.4±0.3 b	1.4±0.3 a	0.7±0.4 a	0.4±0.2 a	0.9±0.3 a	0.8±0.6 a	1.3±0.5
FR	1.8±0.6 b	2.2±0.6 a	0.5±0.3 a	0.2±0.1 a	0.2±0.1 b	2.1±0.4 b	–
世代 Generation							
S	20.9±1.1 a	12.2±1.0 a	8.2±0.3 a	6.6±0.6 a	6.0±0.0 a	5.9±0.4 a	–
AR	28.8±0.4 b	12.2±6.7 a	7.9±0.6 a	7.0±0.0 a	6.0±0.0 a	6.8±0.4 a	6.7±0.5
FR	27.0±1.0 b	13.6±0.8 a	8.5±0.6 a	6.9±0.3 a	6.7±0.5 a	6.4±0.7 a	–

注：表中数据为平均值±标准误，数据后有不同字母表示差异显著($P<0.05$)。表2同。

Notes: The data in the table are mean ± *SE*, and those followed by different letters differ significantly at $P<0.05$. The same for Table 2.

系各螨态及世代的发育历期见表 1。AR 品系在 15 ~ 36℃ 7 个温度下能完成世代发育，而 S 品系和 FR 品系由于卵在 36℃下不能孵化，仅在 15 ~ 34℃ 6 个温度处理下能完成世代发育。3 个品系在其能生存的温度范围内，世代历期和各虫态发育历期均有随温度升高而缩短的趋势。不同品系在同一温度下发育历期的差异在 15℃时表现最为显著，在此温度下 AR 品系的幼螨历期较 S 品系的长 5.8 天，占两个品系整个世代历期相差值 7.98 天的 72.7%；FR 品系的若螨期较 S 品系的长 6.4 天，超过了两个品系整个世代历期的相差值 6.15 天；S 品系的产卵前期显著长于两抗性品系。

2.2　朱砂叶螨不同品系发育速率与温度关系的模拟

根据表 1，将发育历期（N）转换成发育速率（$V = 1/N$）后，采用 Marquardt 阻尼最小二乘法迭代，拟合了朱砂叶螨敏感品系及两个抗药性品系卵、若螨及世代发育速率（V）与温度（T）之间关系的王-兰-丁模型(1)，

$$V_{(T)} = \frac{K}{1 + \exp[-r \times (T - T_0)]} \times \left[1 - \exp\left(\frac{-T - T_L}{\delta}\right)\right] \times \left[1 - \exp\left(\frac{T_H - T}{\delta}\right)\right] \quad (1)$$

式中：K 为高温下潜在的饱和发育速率；r 是发育速率随温度变化的指数增长率；T_L、T_H 分别为最低、最高临界发育温度；T_0 为最适发育温度；δ 为边界层的宽度，其相对大小反映了昆虫对极端温度的不同忍耐程度。发育速率（V）与温度（T）之间的模型曲线见图 1。由图 1 可见，该模型均反映出 3 个品系在高温下发育速率降低的现象，但在同样的下降过程中，以 AR 品系下降最慢。由模型参数得知，朱砂叶螨 S 品系世代发育的临界低温和高温分别为 8.2℃和 36.0℃，最适发育温度为 30.0℃；FR 品系世代发育的临界低温和高温分别为 13.4℃和 36.1℃，最适发育温度为 25.9℃；AR 品系世代发育的临界低温和高温分别为 8.4℃和 42.4℃，最适发育温度为 25.6℃。与敏感品系相比，朱砂叶螨 FR 品系适宜的温度范围较窄；而 AR 品系适宜生存的温度范围较宽，主要表现在对高温的适应能力较 S 品系有大幅提高。

2.3　温度对朱砂叶螨不同品系繁殖力的影响

2.3.1　产卵前期：3 个品系产卵前期随温度变化的趋势是一致的(表 1)：15 ~ 28℃，产卵前期随温度升高而缩短；28 ~ 34℃（或 36℃），产卵前期随温度升高而延长。3 个品系产卵前期的差异在极端温度下较明显：低温时（15℃），两个抗性品系的产卵前期比 S 品系缩短约 4 天左右；高温时（34℃），AR 品系产卵前期较 S 和 FR 品系缩短约 1 ~ 1.5 天。

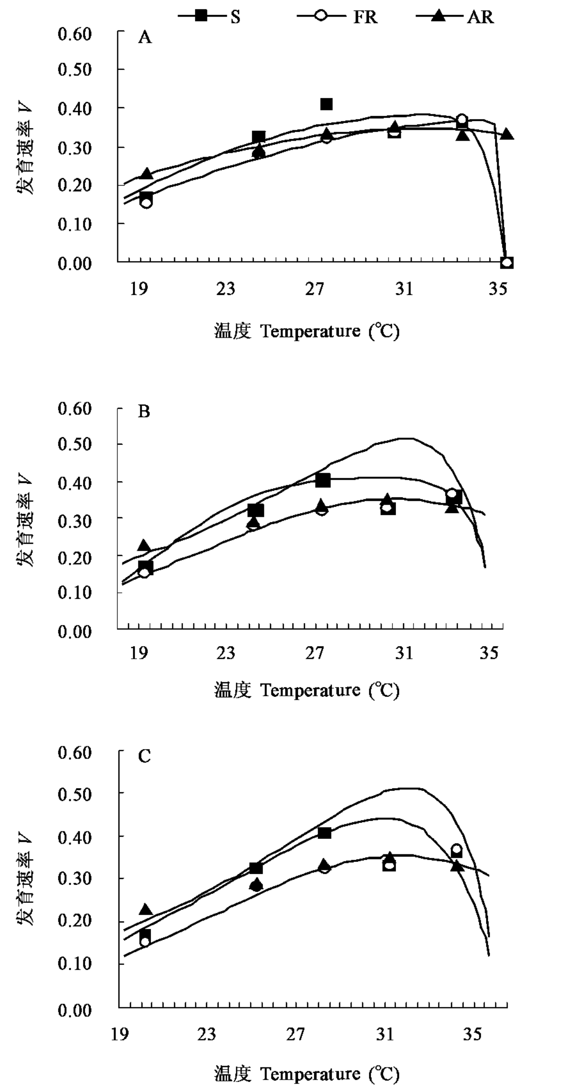

图 1　朱砂叶螨不同品系的发育速率（V）与温度关系的王-兰-丁模型拟合曲线

Fig. 1　Fitted curves between developmental velocity（V）of different strains of *T. cinnabarinus* and temperature by Wang-Lan-Ding model

A. 卵 Egg；B. 若螨 Nymph；C. 世代 Generation.

2.3.2　产卵期和产卵量：不同温度下朱砂叶螨敏感品系和抗性品系雌成螨寿命、产卵期及产卵量的比较见表 2。从表 2 可以看出 3 个品系在不同温度下产卵期及产卵量存在一定差异。

雌成螨寿命：AR 品系在低温下（15℃）较 S 和

FR 品系短 8 ~ 10 天，但在高温下（34℃）却明显比 S 和 FR 品系长。

产卵期：3 个品系产卵期随温度变化的总趋势是随温度的升高而缩短，其中 S 和 AR 品系在 25 ~ 28℃下，各自的产卵期没有明显变化。在 15 ~ 31℃下，AR 品系产卵期与 S 和 FR 两品系的没有显著差异；在≥34℃下，AR 品系产卵期却显著长于 S 和 FR 两品系。

表 2 温度对朱砂叶螨不同品系成螨寿命和繁殖力的影响

Table 2 Effect of temperature on life-span and fecundity of adult mites from different strains of *T*. *cinnabarinus*

品系 Strain	温度 Temperature（℃）						
	15	20	25	28	31	34	36
雌螨寿命 Female life-span（d）							
S	41.7 ± 11.6a	33.5 ± 11.6a	19.4 ± 4.8a	20.8 ± 4.9a	11.1 ± 2.9a	5.5 ± 1.9a	–
AR	33.3 ± 15.8a	31.2 ± 7.7a	19.0 ± 5.5a	19.2 ± 4.8a	13.0 ± 3.8a	7.9 ± 2.3b	7.5 ± 2.9
FR	43.0 ± 13.2a	28.2 ± 10.4a	17.0 ± 6.3a	12.5 ± 3.1b	11.9 ± 3.6a	4.8 ± 1.6a	–
产卵期 Oviposition duration（d）							
S	33.0 ± 5.7a	30.0 ± 9.3a	17.5 ± 3.5a	18.0 ± 4.5a	9.8 ± 2.7a	2.6 ± 0.9a	–
AR	31.7 ± 6.3a	30.1 ± 9.8a	18.4 ± 4.5a	18.8 ± 5.6a	12.1 ± 3.3a	7.0 ± 1.9b	6.2 ± 2.8
FR	37.8 ± 4.7a	25.7 ± 6.2a	16.3 ± 7.2a	12.2 ± 3.0b	11.0 ± 3.6a	2.1 ± 0.4a	–
产卵量 Number of eggs laid							
S	106.9 ± 35.4a	180.2 ± 45.3a	166.9 ± 42.4a	174.0 ± 45.2a	98.7 ± 25.2a	12.0 ± 10.2a	–
AR	68.8 ± 30.5a	138.9 ± 40.3a	131.3 ± 38.3a	147.9 ± 38.7a	99.4 ± 30.2a	46.9 ± 20.5b	30.9 ± 12.9
FR	114.0 ± 37.3a	130.6 ± 38.5a	145.2 ± 41.2a	132.6 ± 35.3a	99.7 ± 28.5a	7.8 ± 5.4a	–

产卵量：3 个品系产卵量与温度的关系均近似于一条抛物线，先随温度升高而增加，然后又随温度的再升高而减少，S、FR 和 AR 品系产卵量达最大值时的温度分别为 20℃、25℃和 28℃。在整个实验温度范围内，除高温下（> 31℃）S 品系产卵量低于 AR 品系外，其余温度下 S 品系的产卵量均高于或接近于两个抗性品系，其中在 20 ~ 28℃范围内 S 品系的产卵量高于两个抗性品系的现象比较明显，AR 品系在 34℃下的产卵量显著高于其它两品系。

3 讨论

一般来说，昆虫或螨类的抗性品系与敏感品系相比，前者具有生殖不利性。但也有例外，如高宗仁等（1991）曾报道溴氰菊酯（deltamethrin）、氧化乐果对朱砂叶螨的繁殖有明显的刺激作用，这和 Maggi（1983）用甲基对硫磷（methyl parathion）处理二斑叶螨的结果相一致。吴孔明和刘芹轩（1994）报道，高抗杀灭菊酯（fenvalerate）的棉蚜品系的若蚜发育历期短于敏感品系的若蚜，而两者繁殖力并无明显差异。本研究结果表明，在 20 ~ 28℃范围内，朱砂叶螨 S 品系的繁殖力高于或明显高于两个抗性品系，这与一般抗性昆虫或螨类的生物学研究结果一致；但在高温下（> 34℃），AR 品系的繁殖力则又明显高于 S 品系。可见在进行昆虫或螨类抗性生物学研究时，基于多个温度条件下所得的结果可能比在一个温度条件所得的结论更加可靠。

在 15 ~ 36℃范围内，朱砂叶螨 AR 品系能完成世代发育。FR 和 S 品系只能在 15 ~ 34℃范围内完成世代发育；在 36℃下，这两品系的卵均不能孵化。根据拟合的王-兰-丁模型的参数，S、FR 和 AR 品系发育的最低临界温度分别为 8.2℃、13.4℃ 和 8.4℃，它们的最高临界温度分别是 36.0℃、36.1℃和 42.4℃，AR 品系适宜生存的温度范围明显较 S 和 FR 品系的宽，且主要表现为对极端高温的适应能力较前二者明显增强；根据该模型得出的 AR 品系各螨态的 δ 值均明显大于 S 和 FR 品系的 δ 值，也表明 AR 品系对极端高温的忍耐程度要大于 S 和 FR 品系。不同温度对朱砂叶螨敏感及抗性品系繁殖力的影响表明，高温下（≥31℃），AR 品系的产卵期及产卵量都分别长于和大于 S 和 FR 品系。以上研究结果表明，朱砂叶螨经阿维菌素长期汰选后形成的抗性品系与同源敏感品系相比，增强了对高温逆境的适应能力。

阿维菌素是一种生物源杀螨剂，经过长期药剂筛选，螨类仍然会对其产生抗药性。本研究表明，对阿维菌素产生抗性的朱砂叶螨与敏感的相比，并不总是存在生殖不利性，相反，高温下具有生殖优势和更好的适应能力。这些结果提示我们，一方面要采取措施延缓害螨对阿维菌素产生抗性；另一方面，对

于已产生阿维菌素抗性的害螨，使用药剂混用的措施来治理该螨的抗性可能比轮用更有效。

参 考 文 献（References）

Gao SR，Li QS，Liu XC，Qiu F，Liu QX，1991. Effect of insecticides on some biological characteristics of *Tetranychus cinnabinus*. *Acta Phytophylacica Sinica*，18(3)：283－286. [高宋仁，李巧丝，刘孝纯，邱峰，刘芹轩，1991. 杀虫剂对朱砂叶螨某些生物学特性的影响. 植物保护学报，18(3)：283－286]

Guo FY，Zhao ZM，1999. Study on development tendency of pesticides resistance in *Tetranychus cinnabarinus*（Acar：Tetranychidae）. *Acta Arachnologica Sinica*，8(2)：118－121. [郭凤英，赵志模，1999. 朱砂叶螨对不同农药抗药性发展趋势的研究. 蛛形学报，8(2)：118－121]

He L，Zhao ZM，Deng XP，Wang JJ，Liu H，Liu YH，2002. Selection and risk assessment of resistance to fenpropathrin，pyridaben and abamectin in *Tetranychus cinnabarinus*（Boiduval）. *Acta Entomologica Sinica*，45(5)：688－692. [何林，赵志模，邓新平，王进军，刘怀，刘映红，2002. 朱砂叶螨对三种杀螨剂的抗性选育及抗性风险评估. 昆虫学报，45(5)：688－692]

He L，Tan SL，Cao XF，Zhao ZM，Deng XP，Wang JJ，2003. Study on resistance selection and activity of detoxifcation enzyme in *Tetranychus cinnabarinus*（Boiduval）. *Chin J. Pestic. Sci.*，5(4)：23－29. [何林，谭仕禄，曹小芳，赵志模，邓新平，王进军，2003. 朱砂叶螨的抗药性选育及其解毒酶活性研究. 农药学学报，5(4)：23－29]

Liu XC，Li QS，Liu QX，1998. The effects of insecticides on dispersal behavior and fecundity of carmine spider mite. *Acta Phytophylacica Sinica*，25(2)：156－160. [刘孝纯，李巧珍，刘芹轩，1998. 杀虫剂对朱砂叶螨扩散行为及繁殖力的影响. 植物保护学报，25(2)：156－160]

Maggi VL，1983. Fecundity response of the spotted spider mite to cotton treated with methyl parathion or phosphoric acid. *J. Econ. Enotomol.*，76：20－25.

Mo JH，1992. Advance in research of insect development model. *Entomological Knowledge*，6：363－366. [莫建华，1992. 昆虫发育模型研究进展. 昆虫知识，6：363－366]

Pan WL，Zhao SH，1990. Life table of rice planthopper population indoors treated with different pesticides at a lower concentration. *Entomological Knowledge*，27(6)：325－327. [潘文亮，赵善欢，1990. 不同药剂低浓度处理的褐飞虱室内种群生命表. 昆虫知识，27(6)：325－327]

Wang RS，Lan ZX，Ding YQ，1982. Study on mathematical model of relationship between velocity of insects development and temperature. *Acta Ecologica Sinica*，2(1)：47－56. [王如松，兰仲雄，丁岩钦，1982. 昆虫发育速率与温度关系的数学模型研究. 生态学报，2(1)：47－56]

Wu KM，Liu XC，Qin XQ，Lou GQ，1990. Investigation of carmine spider mite（*Tetranychus cinnabarinus*）resistance to insecticides. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*，5(2)：117－123. [吴孔明，刘孝纯，秦夏卿，娄国强，1990. 朱砂叶螨抗药性研究. 华北农学报，5(2)：117－123]

Wu KM，Liu QX，1994. Some biological characteristics of cotton aphid strain resistant to fenvalerate. *Acta Entomol. Sin.*，37(2)：137－143. [吴孔明，刘芹轩，1994. 棉蚜抗杀灭菊酯品系的某些生物学特性. 昆虫学报，37(2)：137－143]

Wu YQ，Liu XC，1993. Preliminary study on comparative fitness of monocrotophos-resistant and susceptible *Tetranychus cinnabarinus*（Boiduval）. *Acta Ecologica Sinica*，13(2)：194－195. [武予清，刘孝纯，1993. 朱砂叶螨久效磷抗性品系与敏感品系的比较适合度初步研究. 生态学报，13(2)：194－195]

（责任编辑：袁德成）